

改良された雲マスクと雲粒子タイプ識別スキームによる水・氷雲雲

量の年々変動解析

片桐 秀一郎¹, 佐藤 可織¹, 岡本 創¹, 藤川 雅大¹

¹九州大学応用力学研究所 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

Inter Annual Variability of Water and Ice Cloud Fractions from CALIPSO

Shuichiro KATAGIRI¹, Kaori SATO¹, Hajime OKAMOTO¹, and Masahiro FUJIKAWA¹

¹Kyushu Univ., 6-1 Kasugakouen, Kasuga, Fukuoka 816-8580

Abstract: Information of vertical cloud distribution is crucial for the study of climate change and evaluation of the General Circulation Models (GCMs). There were large varieties in the vertical distribution of low-level clouds sorted by pressure and lower tropospheric stability among the models, leading to the large uncertainties in climate prediction. Concerning the satellite observations, there are large variability of cloud properties from space-borne passive and active sensors. To overcome the issue for the identified differences among the three independent CALIPSO cloud phase products, we revisited the performance of our cloud mask scheme (KU-mask) and cloud particle type scheme (KU-type). The original KU-mask scheme tended to underestimate cloud fraction at low-level and the refined schemes introduced the treatment of cloud portions by taking into account the effect of multiple scattering in lidar signals. The refined KU-mask and KU type schemes were evaluated by the ground-based multiple scattering polarization lidar data. Global reanalysis of the CALIPSO showed that both of ice and water cloud fraction generally increased and most notable increases in low-level water clouds. Inter annual variation of cloud fraction will be presented.

Key Words: Cloud, CALIPSO

1. はじめに

大気大循環モデル (GCM) を用いた気候研究は計算機資源の急速な進歩に伴い、高水平分解能に向かい、またより詳細な雲物理過程を導入する方向にある。しかし気候変動予測における GCM の比較実験では、依然として下層雲の再現性にモデル間で大きな差違が認められた^{1) 2)}。この事が要因として、気候変動予測において、雲が最大の不確定性の要因であると認識されるようになってきた³⁾。このような環境下において、観測面でも、単独の衛星ではなく、複数の衛星を同一の軌道上に配置した衛星コンステレーション (A-train) 観測網を構築した観測が開始された。この A-train には、広い観測幅を持った MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) などの受動型センサや、CloudSat 搭載の Cloud Profiling Radar (CPR), そして Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) 搭載の Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP) といった能動型センサがある。我々は CALIPSO と CloudSat を用いた複合雲プロダクトを作成し各研究機関に配布してきた。CALIPSO を用いた雲プロダクトに関しては、NASA-Langley の標

準プロダクト(ST), フランスの CALIPSO-General Circulation Models-Oriented Cloud Product

(GOCCP) プロダクト⁴⁾, そして我々の KU プロダクトが存在するこれらの水雲, 氷雲ごとにわけた比較解析の結果, 3つのプロダクトの間で違いが大きい事が判明した⁵⁾。今回、まず我々の雲マスクプロダクト KU-mask⁶⁾ とそれを用いて水雲と氷雲に識別を行った KU-Type プロダクト⁷⁾ に関してスキームの改良を実施した。新旧スキームの検証には、理論的な解析の他、地上で多重散乱光を取得することで光学的に厚い雲の観測を実現した多視野角・多重散乱偏光ライダーを用いた⁸⁾。元の雲マスクや雲粒子タイププロダクトと、改良後によるものの違いを中心に報告する。

また、2018年度打ち上げ予定の EarthCARE には、ドップラー雲レーダ (CPR), 高スペクトル分解ライダー (ATLID), 多波長イメージャー (MSI), 広帯域放射計 (BBR) の搭載が予定されている。このうち CPR, ATLID, MSI を利用した雲プロダクトの作成に利用する予定のアルゴリズムの開発を、A-train のデータを用いて行っている。開発状況についても報告する。

2. データ

本研究では衛星搭載ライダー CALIOP のデータ CAL_LID_L1-ValStage1-V3-30 を用いた。また衛星搭載雲レーダ CloudSat のデータは 2B-GEOPROF_GRANULE_P_R04 を用いた。解析機関は 2006 年から 2013 年である。

3. 解析手法

ライダーデータの残差ノイズは、従来の 20 km から高度を上げ 40km 付近の信号から得られる標準偏差を元に導出し、成層圏エアロゾルの影響を最小化した。また、コヒーレントテストはオリジナル⁶⁾と同様に導入している。雲マスクは雲頂に関しては、従来と同じく観測船みらいによる観測結果をまとめたもの⁸⁾に従い、雲とエアロゾルの判別を行っているが、今回雲頂より下の相では減衰と多重散乱による影響を考慮して雲域の特定を行っている。地表面が見えない場合は、今回初めて、雲と判断された部分の下にある層を完全減衰領域として特定した。雲粒子タイプは従来の方法⁷⁾によるが、この識別方法では雲頂より下層のレーザー光の多重散乱の影響の考慮が不十分であった。今回の雲マスクスキームの改善により、検出される下層雲の領域が増加し、そこでの粒子タイプ識別がうまくいかない場合があった。今回雲域下部の温度プロファイルや周囲との連続性を考慮した修正を行うことで、この問題に対処した。

4. 解析結果

従来の雲マスクスキームでは、上層雲量にはそれほど顕著な違いはないが、下層雲を過小評価する傾向があることが判明した。今回の改善されたスキームでは下層雲の検出頻度が増加した。また、完全減衰領域を考慮することにより、統計的に処理した場合の下層雲の雲量は、下層雲で 5% 程度増加した。Fig. 1 に完全減衰を考慮した場合と、考慮しなかった場合の雲量のグローバル解析の差を示す。上図が氷雲の場合、下図が水雲の場合である。下層雲において雲量の増加が見られ、特に北極付近での過冷却の下層雲の雲量が顕著に増加した。Fig. 2 に北極ニューオースンサイト上空を CALIPSO が通過した 10 日分のデータを用いた、新旧雲マスクの鉛直分布の比較を示す。実線が完全減衰を考慮した雲量、点線は考慮せずに統計を取ったものである。中層から上層では雲量の差は見られないが、下層に関しては 5% 程度までの雲量の増加が見られた。Fig. 3 にレーダの減衰を考慮した下層雲の新旧マスクを示す。旧マスクでは下層雲の上部だけしかマスクされていたが、新マスクでは減衰により雲と判定されなかった部分もマスクされるようになった。この新マスクの改

良されたスキームによって、水雲と氷雲の雲量の年々変動のグローバル解析結果を実施した。

まとめ

CALIPSO 衛星のライダーは、CloudSat の雲レーダと比較して、薄い雲や小さい粒子で構成された霧雨を含まない水雲に対し、非常に有効である。

本研究では、衛星搭載ライダーを利用した雲マスクと雲粒子タイプ識別スキームの改良を行った。改良されたスキームによって、特に極域での下層の雲量が増加した。また、極域に限らず、熱帯域でも下層雲の検出精度が向上した（例として Fig. 4 中、四角で囲った領域を示す）。加えて、雲粒子タイプ識別スキームの改良も行った。今回の 2 つのスキームの見直しにより、下層雲の雲量と相識別が改善された。これらの改良によって氷雲と水雲を判別した解析結果 1 年分をグローバルで見ると、北極域と南極域での低層での氷雲および水雲の雲量の違い（Fig. 5）などが得られた。また、熱帯域での 10km を越え、圏界面に近い高高度の巻雲と、中層で低緯度から中緯度に流れ出す巻雲・高積雲の様子（Fig. 6）が得られた。受動型センサによる観測では、高層と中層に重なった二層の雲の検出は極めて難しいが、能動センサの利用により、多層の雲に関するより詳しい解析が可能である。

謝辞

本研究は宇宙航空研究開発機構(JAXA)による EarthCARE プロジェクト及び科研費 JP17H06139、JP15K17762 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) M. Watanabe, H. Shiogama, M. Yoshimori, T. Ogura, T. Yokohata, H. Okamoto, S. Emori, M. Kimoto (2011), Fast and slow timescales in the tropical low-cloud response to increasing CO2 in two climate models, *Clim. Dyn.*, DOI:10.1007/s00382-011-1178-y.
- 2) Jui-Lin F. Li, D. Waliser, C. Woods, J. Teixeira, J. Bacmeister, J. Chern, B.-W. Shen, A. Tompkins, W.-K. Tao, and M. Köhler, (2008), Comparisons of satellites liquid water estimates to ECMWF and GMAO analyses, 20th century IPCC AR4 climate simulations, and GCM simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L19710, doi:10.1029/2008GL035427.
- 3) S. Bony and J.-L. Dufresne, (2005), Marine boundary layer clouds at the heart of tropical cloud feedback uncertainties in climate models, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L20806, doi:10.1029/2005GL023851.

- 4) H. Chepfer, S. Bony, D. Winker, G. Cesana, J. L. Dufresne, P. Minnis, C. J. Stubenrauch, and S. Zeng, (2010), The GCM Oriented Calipso Cloud Product (CALIPSO-GOCCP), *J. Geophys. Res.*, 115, D00H16, doi:10.1029/2009JD012251.
- 5) G. Cesana, H. Chepfer, D. Winker, B. Getzewich, X. Cai, O. Jourdan, G. Mioche, H. Okamoto, Y. Hagihara, V. Noel, and M. Reverdy (2016), *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121(10), 5788-5808, doi:10.1002/2015JD024334.
- 6) Y. Hagihara, H. Okamoto, and R. Yoshida (2010), Development of a combined CloudSat - CALIPSO cloud mask to show global cloud distribution, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, D00H33, doi:10.1029/2009JD012344.
- 7) R. Yoshida, H. Okamoto, Y. Hagihara, and H. Ishimoto (2010), Global analysis of cloud phase and ice crystal orientation from Cloud - Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO) data using attenuated backscattering and depolarization ratio, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, D00H32, doi:10.1029/2009JD012334.
- 8) H. Okamoto, K. Sato, T. Nishizawa, N. Sugimoto, T. Makino, Y. Jin, and A. Shimizu, T. Takano, M. Fujikawa (2016), Development of a multiple-field-of-view multiple-scattering polarization lidar: comparison with cloud radar, *Opt. Express*, 24(26), 30053-30067.
- 9) H. Okamoto, T. Nishizawa, T. Takemura, H. Kumagai, H. Kuroiwa, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, S. Emori, A. Kamei, and T. Nakajima (2007), Vertical cloud structure observed from ship-borne radar and lidar: Midlatitude case study during the MR01/K02 cruise of the research vessel Mirai, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 112, D08216, doi:10.1029/2006JD007628.

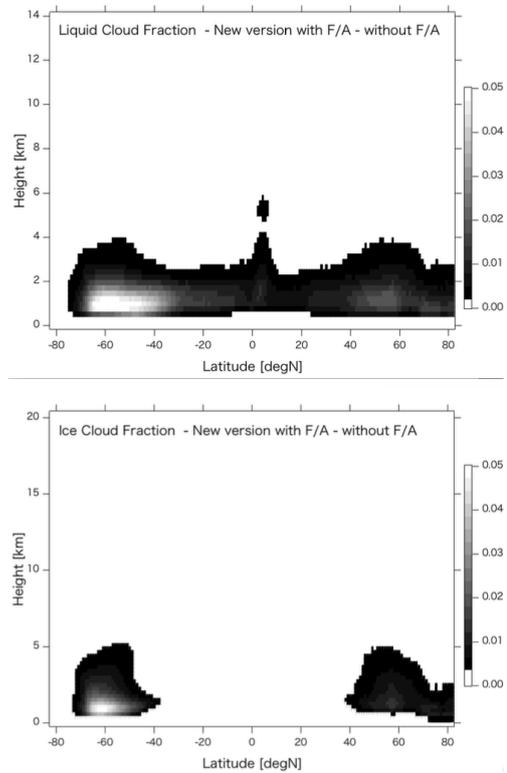


Fig. 1 Cloud fraction difference between new and current version. (Upper panel: Ice clouds, Lower: Liquid clouds)

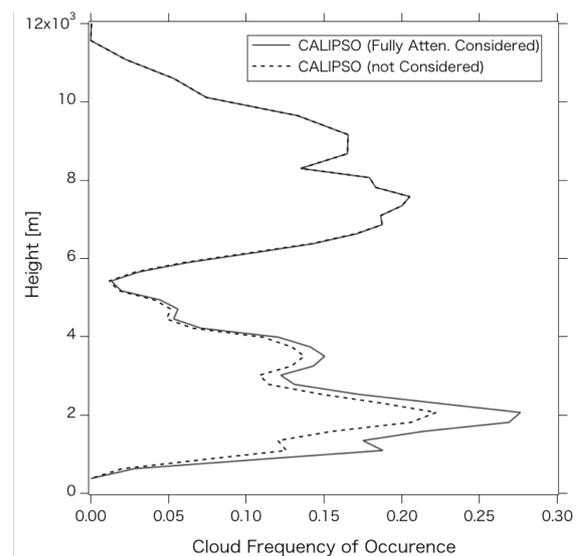


Fig. 2 CALIPSO passed over within 5km from Ny-Alesund site (10 days data average). As considering the fully attenuated grid, the lower clouds fraction got higher almost 5% over Ny-Alesund site.

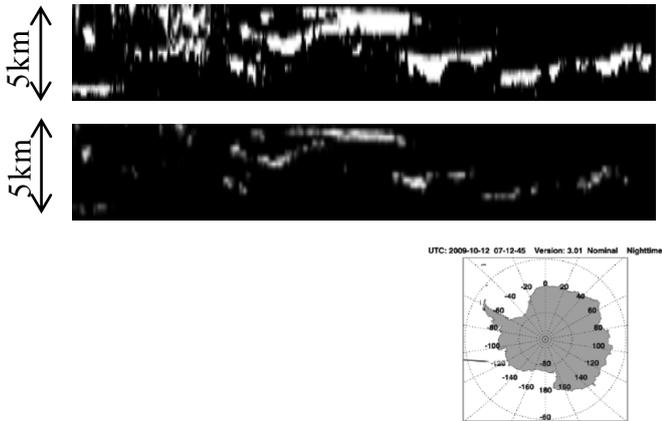


Fig. 3 Results for the refined cloud mask (upper panel) and those for current cloud mask (below).

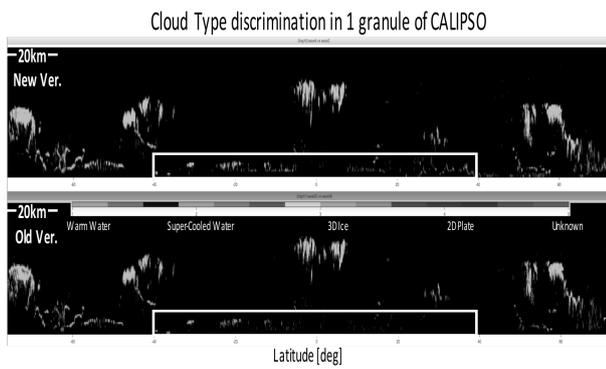


Fig. 4 Results of cloud type discrimination for one granule of CALIPSO. Upper: the refined scheme, lower: current one.

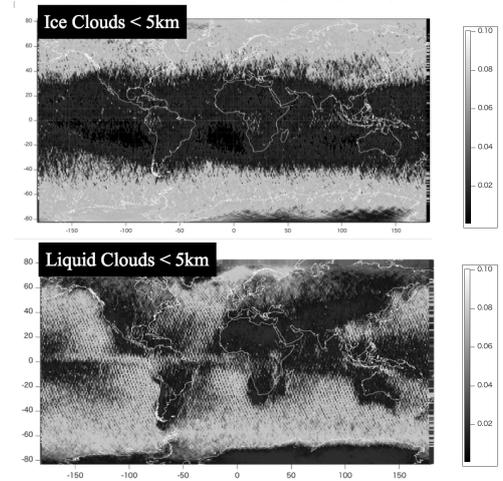


Fig. 5 1-year composite of cloud amount below 5km. Upper: ice clouds, lower: liquid clouds.

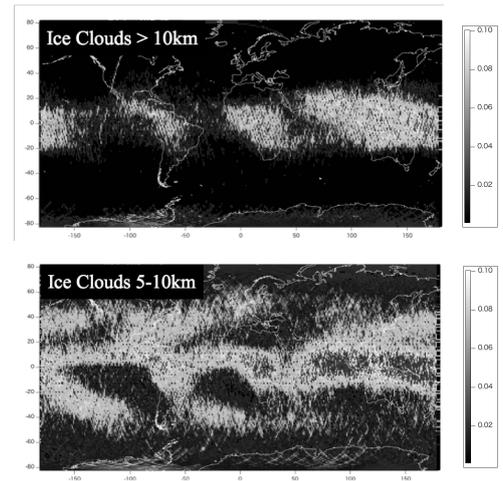


Fig. 6 1-year composite of ice cloud amount above 10km (upper) and between 5 and 10km (lower).